

ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA PARA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE PLÁSTICO RECICLADO POR FUNDICIÓN

Eva Margarita Pineda Luna

Arquitecta. Docente Investigadora Escuela de Ingeniera Civil y Arquitectura. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Sede Central Santa Tecla.
Email: eva.pineda@itca.edu.sv

Gilmar Andrés Ramírez Azahar

Ingeniero Civil. Docente Investigador Escuela de Ingeniera Civil y Arquitectura. Escuela Especializada en Ingeniería ITCA-FEPADE, Sede Central Santa Tecla.
Email: gilmar.ramirez@itca.edu.sv

Recibido: 02/04/2019 - Aceptado: 06/06/2019

Resumen

Como parte de una nueva alternativa al proceso de construcción de viviendas de interés social, reutilizando materias primas, y con la finalidad de minimizar el impacto al medio ambiente, y ahorrar costos de construcción; surge la idea de investigar sobre la utilización del plástico para la fabricación de un tipo de bloque especial y reciclado para que forme parte de las opciones viables y económicas en cuanto a términos de construcción se refiere. Como resultado de la metodología, se desarrolló el estudio de factibilidad técnica para la fabricación de bloques de plástico reciclado, mediante la técnica de fundición para uso en viviendas de interés social. A pesar de los resultados satisfactorios alcanzados como material para procesos constructivos, verificado a través de diferentes pruebas de laboratorio bajo normas ASTM, es necesario realizar más ensayos de verificación y construir módulos de paredes en sus diferentes modalidades para verificar el comportamiento estructural y el comportamiento arquitectónico. Así mismo; para la fabricación del bloque de plástico de una manera más eficiente, se recomienda utilizar una máquina de inyección diseñada para este propósito. Se requiere de material plástico, equipo y herramientas específicas para la fabricación eficiente de los bloques de plástico y del molde a utilizar.

Palabras clave

Fundiciones, polietileno, polipropileno, plásticos, recuperación de desechos, reciclado de residuos.

TECHNICAL FEASIBILITY STUDY FOR THE MANUFACTURE OF RECYCLED PLASTIC BLOCKS BY CASTING

Abstract

As part of a new alternative for the construction process of social housing, reusing raw materials, and with the purpose of minimizing the impact to the environment, and saving construction costs; the idea of a research about the use of plastic for the manufacture of a special and recycled type of block as part of a viable and economic option in terms of construction comes up. As a result of the methodology, a technical feasibility study was developed for the manufacture of recycled plastic blocks using the casting technique for their use in low-income housing. In spite of the satisfactory results achieved as material for construction processes, verified through different laboratory test under ASTM standard, it is necessary to carry out more verification tests and build wall modules in their different modalities to verify the structural and architectural behavior. Likewise, for the manufacture of the plastic block in a more efficient way the use of an injection machine designed for this purpose is recommended. Plastic material, equipment and specific tools are required for the efficient manufacture of the plastic blocks and the mold to be used.

Keyword

Castings, polyethylene, polypropylene, plastics, waste recovery, waste recycling.

Introducción

Ante el incremento de la utilización del plástico en la sociedad a nivel mundial como nacional, se ve la necesidad de poder dar otro uso a los diferentes tipos de plástico que se consume

en la vida diaria de las personas. Esto lleva a la búsqueda de información del tipo de plástico para la realización de pruebas bajo normas que se efectúan en el sector de la construcción,

para determinar diferentes parámetros que deben de cumplir los materiales con los que se construirá. Los ensayos efectuados al plástico, fueron hechos bajo la norma ASTM (American Society for Testing Materials), según sus siglas en ingles.

Para este proyecto se dividieron los medios de transmisión de calor en tres tipos: calentamiento por contacto, calentamiento por inmersión y calentamiento por convección. El plástico polietileno posee propiedades tan eficientes al contacto con el calor que, sin duda alguna, al utilizar el método adecuado, se podrán fabricar bloques acordes a las necesidades industriales y de construcción que se requiere.

El bloque de plástico reciclado se presenta como una propuesta de material a utilizar en la construcción de paredes perimetrales y divisorias, por las propiedades físicas y mecánicas que presenta el polietileno, lo que lo vuelve un material resistente, duradero y ecológico.

Una de las bondades al finalizar esta investigación es que el plástico del tipo polietileno, podría ser reutilizado dentro del sector de la construcción para crear elementos constructivos y arquitectónicos, debido a que cumple con la resistencia a la compresión requerida por la norma ASTM C 39-05 [1].

Metodología

Como resultado del proceso de trabajo realizado durante el período de investigación 2018, se desarrolló el estudio de factibilidad técnica para la fabricación de bloques de plástico reciclado mediante la técnica de fundición para uso en viviendas de interés social.

Luego de analizar la clasificación de la materia prima óptima a utilizar y habiendo realizado ensayos bajo normas de la American Society for Testing Materials, ASTM, utilizadas en el área de la construcción en El Salvador, se diseñó un prototipo de bloque para utilizarlo en la construcción. Se siguió un proceso metodológico según Hernández Sampieri [2], para el desarrollo del bloque, en todas sus etapas.

Con este conocimiento se dio paso a la etapa del desarrollo experimental de la investigación, realizando ensayos para evaluar los diferentes materiales plásticos seleccionados para el proyecto.

Los plásticos seleccionados según las características físico-químicas que presentaban fue el polietileno y polipropileno, a estos se les efectuaron las siguientes pruebas de laboratorio bajo normas ASTM respectivamente:

- ♦ Granulometría (ASTM C 133-14)
- ♦ Peso Volumétrico (ASTM C 29- 17)

- ♦ Pruebas estándar para la resistencia a compresión de especímenes cilíndricos (ASTM C39-05)
- ♦ Gravedad Específica (ASTM C 128-04), [1], [3-5].

Las pruebas mencionadas sirvieron para estandarizar el procedimiento a utilizar en el diseño y fabricación del bloque de plástico. Los resultados de estas pruebas sirvieron para avanzar en el desarrollo experimental de la investigación.

Se decidió trabajar con un tipo de plástico específico, polietileno, por sus características observadas en los ensayos antes descritos. A continuación, se muestra el esquema a seguir de las etapas de la metodología de investigación.

Calentamiento del plástico

El plástico reciclado puede moldearse con el proceso de termo formado. En éste la operación de calentamiento es una de las etapas que emplea más tiempo y en la que se pueden presentar las mayores dificultades, ocasionando el mal aprovechamiento de recursos materiales y humanos.

Aun cuando los científicos han dividido la transferencia de calor en tres fenómenos distintos: conducción, convección y radiación, ya en la práctica los tres son concurrentes.

Así mismo para el propósito del proceso termo formado se consideran tres medios para la transmisión de calor como son:

- a) Contacto con un sólido
- b) Radiación infrarroja
- c) Excitación interna

De los cuales solamente los primeros dos (a y b) son empleados en el termo formado de plásticos y sus rangos de temperaturas oscilan entre los 120 °C y 205 °C (250 °F y 400 °F, respectivamente). Una de las propiedades del plástico es ser pobre en cuanto a conducción de calor se refiere, por lo tanto, el molde debe ser lo suficientemente grueso para un buen manejo y manipulación del bloque. Cabe aclarar, que todos los medios de calentamiento existentes, necesitan de un tiempo considerable para precalentar el equipo.

Para este proyecto se dividieron los medios de transmisión de calor en tres tipos:

1. **Calentamiento por contacto:** este método es el más rápido ya que se debe colocar el plástico en contacto directo con una placa caliente de metal. Este medio es más utilizado para cosas pequeñas y delgadas.
2. **Calentamiento por inmersión:** este método consiste en sumergir el plástico en algún tipo de líquido que transfiera calor de manera rápida y uniforme.

Su limpieza y manipulación son difíciles de realizar, por lo tanto, tiene restringidos los tipos de moldes muy grandes.

3. **Calentamiento por convección:** este método provee el calentamiento uniforme y además puede secar algunos materiales que contengan cierto grado de humedad.

Básicamente, estos tres tipos poseen propiedades tan eficientes al contacto con el calor que, sin duda alguna, utilizando los métodos adecuados, se podrán fabricar moldes acordes a las necesidades industriales y de construcción que se requiere, según Plastiglas de México S.A de C.V [6].

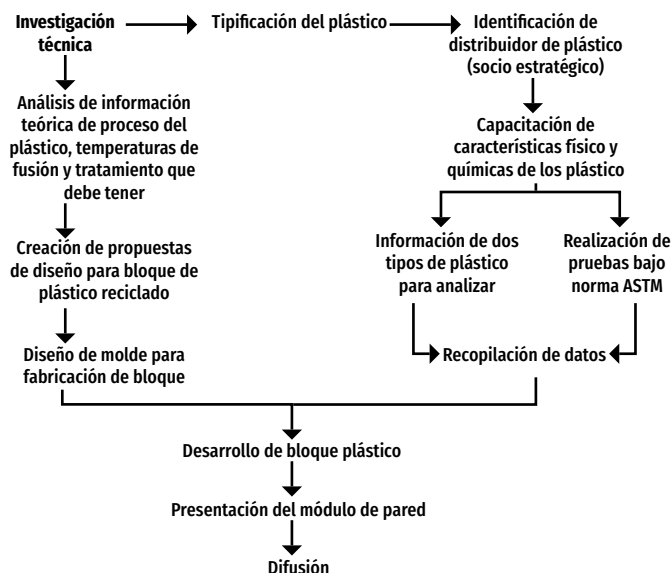


Figura 1. Esquema metodológico de la investigación desarrollada.
Fuente: elaboración propia, 2018.

Propiedades del plástico polietileno

Propiedades mecánicas: las propiedades mecánicas de un material se refieren a su capacidad para soportar fuerzas, el modo como se deforman y ceden ante dichas fuerzas. Así las propiedades mecánicas del Polietileno de alta densidad dependen básicamente de su estructura, que comprende lo que es la distribución del peso molecular y la cristalinidad. Pero también depende de factores externos como lo son la temperatura, entorno químico y el tiempo, entendido este último como medida de la rapidez con que se aplican fuerzas, así como de la duración de éstas.

Polietileno líquido: el movimiento del polietileno líquido es no newtoniano. La velocidad disminuye a medida que aumenta la presión y con ésta la velocidad de paso. Por la sensibilidad de la viscosidad de la masa fundida al peso molecular, y en virtud de que el polietileno se maneja normalmente en estado fundido en operaciones de extrusión, moldeo o vaciado, los diferentes polímeros del comercio se caracterizan por la viscosidad del producto fundido.

El polietileno es insoluble en agua y sólo la absorbe en un grado muy limitado. La absorción de agua aumenta con la temperatura.

Permeabilidad: una propiedad importante del polietileno es su pequeña permeabilidad al vapor de agua. Por otro lado, el polietileno tiene una permeabilidad elevada a los vapores orgánicos y al oxígeno. La permeabilidad aumenta con la temperatura.

Propiedades eléctricas: cómo podía esperarse de su composición química, el polietileno tiene una conductividad eléctrica pequeña, baja permisividad, un factor de potencia bajo y una resistencia dieléctrica elevada. Las propiedades eléctricas no son especialmente sensibles a la humedad en virtud de la absorción muy pequeña de agua por el polietileno; pero el factor de potencia es probable que aumente si se somete el polietileno a la oxidación.

Propiedades químicas: el polietileno es uno de los polímeros más estables e inertes, como podía esperarse de su estructura sustancialmente parafínica. Sin embargo, tiene algunas reacciones que limitan sus usos y que exigen adoptar ciertas precauciones durante su tratamiento.

Obtención de materia prima

En esta fase se inició la búsqueda de posibles proveedores de materia prima o plástico reciclado peletizado en El Salvador. Una empresa de prestigio nacional dedicada al reciclaje de plásticos brindó la materia prima, así como el apoyo y asesoría sobre los plásticos que procesa.

Desarrollo de pruebas bajo la norma ASTM al polietileno peletizado

Con la finalidad de determinar las características del bloque de plástico reciclado, se tomó como referencia las especificaciones técnicas de la normativa ASTM en la fabricación de bloques de concreto hidráulico, por lo tanto, se caracterizó el material de plástico reciclado para determinar su granulometría, gravedad específica, peso volumétrico y resistencia a la compresión.



Figura 2. Muestra el tamizador utilizado para las pruebas de granulometría.

Pruebas de granulometría de agregados finos: ASTM C133-14

De acuerdo a los resultados obtenidos con el ensayo de granulometría, según norma ASTM C 133 -14, utilizando una muestra representativa de material polietileno, se determinó que los tamaños de las partículas que conforman el material en análisis tiene un 98%, que oscilan en un tamaño entre 2.38 mm hasta 4.76 mm, resultados que se presentan en la siguiente figura 3. Por lo que el plástico reciclado es cortado uniformemente en todo el proceso de fabricación del pellet.

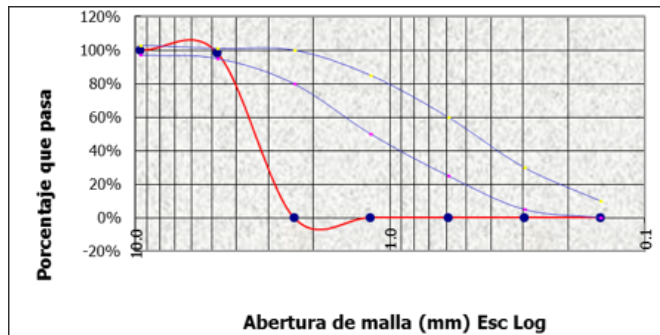


Figura 3. Resultado de granulometría realizada al plástico de polietileno peletizado.

Pruebas de Peso Volumétrico: ASTM C 29-17

El peso volumétrico es la relación entre el peso de un material y el volumen ocupado por el mismo, expresado en Kg/m^3 .



Figura 4. Pruebas de peso volumétrico al polietileno.

El peso volumétrico del pellet, según procedimientos dados por la norma ASTM C29-17, es de $577 \text{ kg}/\text{m}^3$, siendo una densidad bastante baja, aunque es importante detallar que el peso volumétrico contempla los espacios vacíos generados por contener partículas del mismo tamaño, demostrado en el ensayo de granulometría.

Pruebas de Gravedad Específica: ASTM C128-04

El objetivo de esta prueba es determinar el peso específico absoluto, de cualquier material compuesto por partículas pequeñas cuya gravedad específica sea mayor que 1, utilizando

para ello un picnómetro. La gravedad específica de la arena se toma como el valor promedio para granos de la arena.



Figura 5. Pruebas de gravedad específica al polietileno.

Usando como base los procedimientos según norma ASTM C128-04, se determinó la gravedad específica del material de plástico polietileno, con un resultado de $0.89 \text{ g}/\text{cm}^3$, por lo que su densidad se puede determinar como inferior a la densidad del agua potable, que es de $1.00 \text{ g}/\text{cm}^3$.

Método de prueba estándar para la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos ASTM C39 – 05

La resistencia a la compresión se mide comprimiendo probetas cilíndricas de concreto en una máquina de ensayos de compresión, en tanto la resistencia a la compresión se calcula a partir de la carga de ruptura dividida entre el área de la sección que resiste a la carga y se reporta en Mega Pascales (MPa) en unidades SI. El objetivo principal del ensayo consiste en determinar la máxima resistencia a la compresión de un cilindro de muestra frente a una carga aplicada axialmente.

Se realizaron pruebas de compresión a cilindros elaborados de polietileno. Se procedió a fundir la muestra dentro de un molde metálico para concreto hidráulico, obteniendo un cilindro, al cual se le calculó su volumen, peso volumétrico y resistencia a la compresión, resultados que se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1.
Resistencia a la compresión de cilindros de plástico de polietileno.
Fuente: elaboración propia.

Muestra n°	Altura	Diámetro	Peso	Área	Volumen	Edad	Peso / Volumen	Lectura	Carga	Esfuerzo
	cm	cm	g	cm^2	cm^3	días	kg/m^3	KN	Kg	kg/cm^2
1	18.1	9.7	1227	73.9	1401	7	916.9	270	27551	373
2	18.2	9.9	1227	77	1337.6	7	875.8	241	24592	319



Figura 6. Probeta de plástico ensayada en la Máquina de Compresión.

Resultados de laboratorios

Se presenta una tabla resumen de las características físico mecánicas del material de plástico peletizado, su granulometría, peso volumétrico, gravedad específica, y resistencia a la compresión.

Tabla 2.
Cuadro resumen de resultados de pruebas de laboratorio.
Fuente: elaboración propia.

Ensayo	Resultados	Descripción
Granulometría	2.38 mm hasta 4.76 mm	Se determina que los tamaños de las partículas que conforman el material en análisis tienen un 98% de uniformidad, entre 2.38mm y 4.76mm. Y aunque sea un material uniforme, esto sólo determina una característica de la materia prima peletizada, no es un parámetro para determinar la calidad del mismo.
Peso volumétrico suelto	577 kg/m ³	Tiene una densidad bastante baja, aunque es importante detallar que el peso volumétrico contempla los espacios vacíos generados por contener partículas del mismo tamaño. Esta característica no genera cambios en los resultados obtenidos de la calidad del bloque, ya que es un análisis realizado al material reciclado, para efecto de caracterización.

Gravedad específica	0.89 g/cm ³	La densidad es menor a la densidad del agua potable, que es de 1 g/cm ³ . Esta característica no genera cambios en los resultados obtenidos de la calidad del bloque, ya que es un análisis realizado al material reciclado, para efecto de caracterización; se utilizó para cálculo de volúmenes de materiales.
Peso volumétrico consolidado	935 kg/m ³	Según Aries [7], Se encuentra abajo del peso volumétrico de un bloque de concreto convencional, que es de 1,800 kg/m ³ , o el de las arenas que es de 1,400 kg/m ³ .
Resistencia a la compresión de un cilindro de polipropileno	345 kg/cm ²	Superan la resistencia típica utilizada en concretos hidráulicos estructurales que según norma ASTM C39-05 es de 210 kg/cm ² a los 7 días de edad.
Resistencia a la compresión de bloque de plástico reciclado.	134 kg/cm ²	Iguala la resistencia mínima requerida por la norma ASTM C-90, que es de 133 kg/cm ² a los 28 días de edad.

Descripción de propuesta de prototipo de bloque de plástico

El bloque diseñado ya ensamblado, tiene medidas generales de 10 x 20 x 40 cm, medidas similares a las de un bloque de concreto convencional; con la diferencia que sería un bloque tipo lego, que se ensambla al momento de realizar la construcción. El procedimiento constructivo es similar al sistema de bloques de concreto hidráulico, con soleras de fundación, intermedias y coronamiento así como la distribución de bastones a cada 60 cm.

Lo ventajoso y novedoso del sistema es que se acelera la construcción de las paredes y esto disminuye el tiempo de la obra, debido a que los bloques de polietileno se ensamblarían entre ellos, lo cual tiene ventajas de ahorro de tiempo, costo y trabajo (ver fig. 11). Los bloques cuentan con 2 agujeros que sirven para la colocación de elementos de acero verticales

utilizados en paredes; de igual manera pueden ser utilizados para colocar ductos de instalaciones eléctricas y tuberías hidráulicas; la forma del bloque simula una "L".

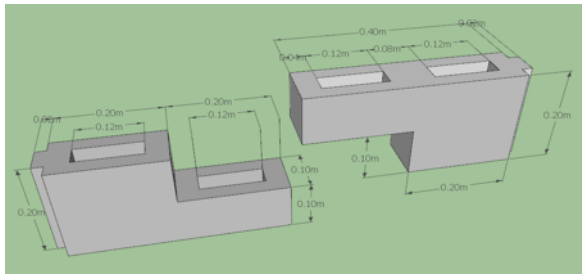


Figura 7. Modelado en 3D de la propuesta de bloque de plástico.
Fuente: diseño propio, 2018.



Figura 8. Modelo 3D de molde metálico para fundir plástico.



Figura 9. El plástico ya fundido dentro del molde.
Fuente: diseño propio, 2018



Figura 10. Prototipo de bloque de plástico reciclado de polietileno.
Fuente: diseño propio, 2018

Aplicación del prototipo

El bloque de plástico reciclado se presenta como una propuesta de material a utilizar en la construcción de paredes perimetrales y divisorias, por las propiedades físicas y mecánicas que presenta el polietileno, lo que lo vuelve un material resistente, duradero y ecológico.

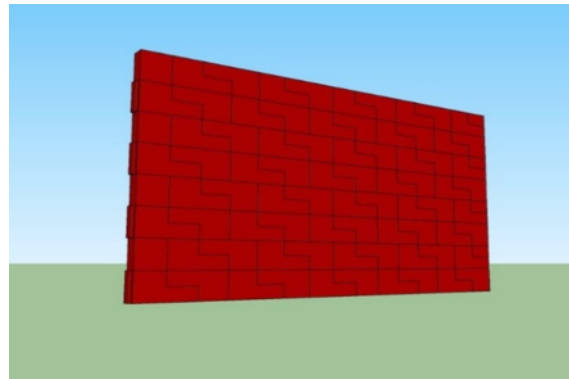


Figura 11. Modelo 3D de pared lineal, de bloque plástico.
Fuente: creación propia, 2018

Conclusiones

Finalizado el proyecto de investigación, se ha llegado a la conclusión que este proyecto podría beneficiar al sector de la construcción, considerando los resultados de las características físicas y mecánicas que a continuación se presentan:

- » Se realizaron pruebas comparativas de laboratorio de control de calidad de materiales bajo normas ASTM entre bloques de concreto hidráulico versus bloques de plástico polietileno.
- » Como resultado se obtuvo que el bloque de plástico posee un peso volumétrico menor a la mitad de un bloque de concreto hidráulico convencional. Se obtuvo un peso volumétrico de 935 kg/m^3 para el bloque de polietileno, siendo el requisito mínimo de un bloque de concreto hidráulico de $2,000 \text{ kg/m}^3$, según norma ASTM C 29-17.
- » Se obtuvo una resistencia de 134 kg/cm^2 para el bloque de polietileno y según norma ASTM C 39-05, debe cumplir un mínimo de 133 kg/cm^2 para un bloque de concreto hidráulico y por lo tanto cumple la norma.
- » El plástico del tipo polietileno podría ser reutilizado dentro del sector de la construcción para crear elementos constructivos y arquitectónicos, debido a que cumple con la resistencia a la compresión requerida por la norma ASTM C 39-05. La resistencia a la compresión del cilindro

de plástico obtenida fue de 345 Kg/cm² versus 210 Kg/cm² que indica la norma.

Recomendaciones

1. Para la fabricación del bloque de plástico de una manera más eficiente, se recomienda utilizar una máquina de inyección diseñada
2. para este propósito. Se requiere de material plástico, equipo y herramientas específicas para la fabricación eficiente de los bloques de plástico y del molde a utilizar.
3. Este proyecto se limitó a la propuesta de diseño de un prototipo de bloques de plástico reciclado. Al material utilizado para este prototipo se le realizaron pruebas de acuerdo a las normas internacionales de ASTM para el sector construcción.
4. A pesar de los resultados satisfactorios alcanzados como material para procesos constructivos, es necesario realizar más ensayos de verificación y construir módulos de paredes en sus diferentes modalidades para verificar el comportamiento estructural y el comportamiento arquitectónico.
5. Estos bloques podrían ser versátiles al momento de construir paredes, ya que requieren un proceso constructivo similar al utilizado en la construcción tradicional.
6. Como parte de la innovación dentro del área de Arquitectura, el proceso propuesto para la construcción de paredes, solo requiere de un ensamblaje entre los bloques y habrá que experimentar y determinar el material idóneo para aglutinar los bloques, si es requerido.
7. La experiencia en este proyecto de fabricar bloques por fundición, en un horno eléctrico y moldes de láminas de hierro no resultó en un proceso eficiente.
8. Se recomienda realizar pruebas adicionales para determinar el material plástico y el metálico del molde idóneo para la fabricación de los bloques propuestos.

Referencias

- [1] ASTM, American Society for Testing Materials. «Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens : C 39/C 39M-05». En Annual Book of ASTM Standards: Construction., pp. 23-29. 04.02 Concrete and aggregates. Baltimore, MD: ASTM International, 2008.
- [2] R. Hernández Sampieri, C. Fernández Collado y P. Baptista Lucio, Metodología de La investigación. México: McGraw-Hill, 2014.
- [3] ASTM, American Society for Testing Materials. «Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates : C 136-06». En Annual Book of ASTM Standards : Construction., pp. 94-28. 04.02 Concrete and aggregates. Baltimore, MD: ASTM International, 2008.
- [4] ASTM, American Society for Testing Materials. «Standard Test Method for Bulk Density ("Unit Weight") and Voids in Aggregate : C 29/C 29M-07». En Annual Book of ASTM Standards: Construction., pp. 1-5. 04.02 Concrete and aggregates. Baltimore, MD: ASTM International, 2008.
- [5] ASTM, American Society for Testing Materials. «Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gravity), and Absorption of Fine Aggregate: C 128/C 128-07a». En Annual Book of ASTM Standards : Construction., pp. 83-89. 04.02 Concrete and aggregates. Baltimore, MD: ASTM International, 2008.
- [6] Manual técnico termoformado, Plastiglas de México. México, D.F.: Plastiglas, pp. 18-20.
- [7] A. U. Arias Guevara, J.I. Fuentes Aguilera y V. J. Granados Mendoza. "Control de calidad de las propiedades de resistencia a la compresión, absorción y peso volumétrico para las unidades de carga de mampostería, fabricados mediante procesos manuales y semi- industriales utilizando agregados de las canteras de Aramuaca y Ereaguayquín de la Zona Oriental de El Salvador". Tesis Arquitectur, Univ. de El Salvador, 2013. [En línea]. Disponible en: <http://ri.ues.edu.sv/id/eprint/6297/>. [Accedido: 13-Jun-2018]